



Europäisches Patentamt

(19) European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Publication number:

0 296 251

A1

= DE 38 81 584 T2

(12)

EUROPEAN PATENT APPLICATION

published in accordance with Art. 158(3) EPC

(21) Application number: 88900788.6

(61) Int. Cl.³: F 16 L 43/00

(22) Date of filing: 06.01.88

Date of the international application taken as a basis:

(86) International application number:
PCT/JP88/00008(87) International publication number:
WO88/05143 (14.07.88 88/15)(30) Priority: 07.01.87 JP 1421/87
26.05.87 JP 129435/87(72) Inventor: INOUE, Y. Nippon Steel Corp., R&D
Laboratories-II
5-10-1, Fuchinobe Sagamihara-shi
Kanagawa 229(JP)(43) Date of publication of application:
28.12.88 Bulletin 88/52(72) Inventor: NAGASAKA, Tetsuo Nippon Steel Corporation
6-3, Ote-machi 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-71(JP)(84) Designated Contracting States:
BE DE FR GB IT NL(72) Inventor: MATSUBARA, Y. Dai-Ichi High Frequency Co.,
Ltd.
8-3, Tono-machi 2-chome Kawasaki-ku
Kawasaki-shi Kanagawa 210(JP)(71) Applicant: NIPPON STEEL CORPORATION
6-3 Otemachi 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-71(JP)(72) Inventor: TAKAGISHI, M. Dai-Ichi High Frequency Co.,
Ltd.
8-3, Tono-machi 2-chome Kawasaki-ku
Kawasaki-shi Kanagawa 210(JP)(71) Applicant: JGC Corporation
2-1, Ohte-machi 2-chome
Chiyoda-Ku Tokyo 100(JP)(72) Inventor: AKIZAWA, Seiichi
1-14-1, Bessho Minami-ku Yokohama-shi
Kanagawa 232(JP)(72) Inventor: NAOI, H. Nippon Steel Corp., R&D
Laboratories-II
5-10-1, Fuchinobe Sagamihara-shi
Kanagawa 229(JP)(74) Representative: Vossius & Partner
Siebertstrasse 4 P.O. Box 86 07 67
D-8000 München 88(DE)

(54) BENT PIPE HAVING HIGH-STRENGTH CROSS-SECTION.

(57) A cross-sectionally circular elbow having a uniform wall thickness is used at a bent portion of a conventional pipeline in a plant, and it has been demanded that the strength of a bent portion of a pipeline against the internal pressure and bending moment be improved. This invention relates to an elbowless bent pipe of a high strength, which has been developed so as to meet this requirement. An elbowless bent pipe having excellent strength characteristics with respect to the internal pressure and bending moment has successfully been made by (1) setting the wall thickness of the outer circumferential section of a bent portion thereof to a level lower than that of the wall thickness of a conventional elbow, (2) setting the wall thickness of the inner circumferential section of the bent portion of the elbowless bent pipe to a level higher than that of the wall thickness of a conventional elbow, and (3) minimizing the degree of flatness of a cross section of the bent portion of the same pipeline.

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(22) Übersetzung der
europäischen Patentschrift

(21) Int. Cl. 5:
F 16 L 43/00

(23) EP 0 296 251 B1

(10) DE 38 81 584 T 2

DE 38 81 584 T 2

1

(21)	Deutsches Aktenzeichen:	38 81 584.2
(22)	PCT-Aktenzeichen:	PCT/JP88/00008
(23)	Europäisches Aktenzeichen:	88 900 788.6
(24)	PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 88/05143
(25)	PCT-Anmeldetag:	6. 1. 88
(26)	Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	14. 7. 88
(27)	Erstveröffentlichung durch das EPA:	28. 12. 88
(28)	Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	9. 6. 93
(29)	Veröffentlichungstag im Patentblatt:	5. 1. 94

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)
07.01.87 JP 1421/87 26.05.87 JP 129435/87

(72) Patentinhaber:
Nippon Steel Corp., Tokio/Tokyo, JP; Dai-Ichi High Frequency Co., Ltd., Tokyo, JP; JGC Corp., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Tauchner, P., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Heunemann, D., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Rauh, P., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Hermann, G., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Schmidt, J., Dipl.-Ing.; Jaenichen, H., Dipl.-Biol. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte; Tremmel, H., Rechtsanw., 81675 München

(84) Benannte Vertragstaaten:
BE, DE, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:
NAOI, H. Nippon Steel Corp., R&D Laboratories-II, Kanagawa 229, JP; INOUE, Y. Nippon Steel Corp., R&D Laboratories-II, Kanagawa 229, JP; NAGASAKA, Tetsuo Nippon Steel Corporation, Tokyo 100-71, JP; MATSUBARA, Y. Dai-ichi High Frequency Co., Ltd, Kawasaki-shi Kanagawa 210, JP; TAKAGISHI, M. Dai-ichi High Frequency Co., Ltd, Kawasaki-shi Kanagawa 210, JP; AKIZAWA, Seiichi, Kanagawa 232, JP

(54) GEBOGENES ROHR MIT HOHER QUERSCHNITTSFESTIGKEIT.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 38 81 584 T 2

1 EP-B-0 296 251
(88 90 0788.6)
NIPPON STEEL CORPORATION, et. al.
u. Z.: X 487 EP

1. Sep. 1993

5 **Gebogenes Rohr mit hoher Querschnittsfestigkeit**

Die Erfindung betrifft ein gebogenes oder gekrümmtes Stahlrohrerzeugnis mit einer solchen Abmessung und Form, daß die Festigkeitseigenschaften seines gebogenen Abschnitts denen seines geraden Abschnitts in einer Rohrleitung überlegen sind, auf die ein Innendruck und eine Außenkraft, z. B. ein Biegungsmoment, einzeln oder in Kombination als Ergebnis des Betriebs einer Apparatur ausgeübt werden, z. B. in einer Rohrleitung einer Chemieanlage, einer Kesselrohrleitung oder in einer Rohranordnung für Kernenergieanlagen.

Die herkömmlichen gebogenen Rohre sind in den Japanischen Industrienormen Nr. B2311, B2312 usw. vorgeschrieben. Gemäß Fig. 2 erfolgte die Rohrherstellung durch Anfügen von geraden Rohren 3 über Anschweißbereiche 4 an Schweißfittings 2 (allgemein als Krümmer bekannt) und entsprechend dem Hamburger Biegeverfahren, das in "Tekko binran (Stahlhandbuch) IV", 3. Ausgabe, Seite 179, herausgegeben vom Japanischen Eisen- und Stahlinstitut, beschrieben ist. Dabei ist jedoch die Konfiguration des gebogenen Rohrerzeugnisses auf einen gebogenen Abschnitt mit einem Biegewinkel bis zu 180° beschränkt. Deshalb brachte das gebogene Rohrerzeugnis Probleme mit sich, z. B. längere Schweißarbeitszeiten bei der Rohrmontage, damit zusammenhängende längere Prüfarbeitszeiten für Schweißabschnitte und höhere Baukosten. Folglich bestand ein Bedarf an einem gebogenen Rohr mit einem gebogenen Abschnitt und an dessen beiden Enden in einem Stück vorgesehenen geraden Abschnitten, um die Schweißabschnitte zu verringern. Als Vorschlag zur Herstellung eines solchen wünschenswerten gebogenen Rohrs offenbaren die JP-A-24878/1974 und JP-A-135870/1978 ein Bearbeitungsverfahren für ein induktionsgebogenes Rohr 1 gemäß Fig. 1. Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß der gebogene Abschnitt immer einen geringeren verformungsauslösenden Innendruck als der gerade Abschnitt aufweist, wenn das

Ap 00 49024873 At Pub 3. 1974

- 1 Verhältnis zwischen Krümmungsradius R und Außendurchmesser D_0 des geraden Abschnitts (R/D_0) im Bereich von 1 bis 5 und das
 5 Verhältnis zwischen Wanddicke T_0 des geraden Abschnitts und Außendurchmesser D_0 des geraden Abschnitts (T_0/D_0) im Bereich von 0,02 bis 0,20 liegt. Ferner ist die Herstellung von gebogenen Rohren durch Biegen von geraden Rohren allgemein bekannt.

10 Von den Erfindern wurde unter dem Gesichtspunkt der Abmessung und Konfiguration untersucht, ob die Festigkeitseigenschaften einer Rohrleitung mit diesem Krümmer befriedigend sind, wenn ein Innendruck und eine Außenkraft, z. B. ein Biegungsmoment, einzeln oder in Kombination ausgeübt werden; dabei wurden Probleme aufgegriffen.

15 Zunächst wurde bei einer Rohrleitung mit einem Krümmer und daran über Schweißabschnitte angefügten geraden Rohren die auftretende Beanspruchung an der Rohraußenseite an jedem Krümmerbereich untersucht, nachdem der Innendruck P 100 at (98,69 bar) als Ergebnis eines auf die Rohrleitungsinnenfläche ausgeübten Drucks durch einen Wasserdruck von einem Wassereinlaß 7 erreichte, der gemäß Fig. 3(a) zur Innendruckbeaufschlagung an einem Ende des geraden Rohrs angebracht war. Ferner wurde der Innendruck P bis zum Bruch der Rohrleitung erhöht, wobei ihre charakteristischen Merkmale untersucht wurden. Fig. 4 zeigt die auftretende Beanspruchung, nachdem der Innendruck P 100 at (98,69 bar) erreichte. Aus der Darstellung wird deutlich, daß die auftretende Beanspruchung ihren Höchstwert am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des Krümmers erreicht, der einen gefährdeten Querschnitt darstellt.

20 Fig. 3(a) zeigt die Bruchbedingungen an einem Bruchpunkt 5 der Rohrleitung. Der Bruch trat in der Umgebung des Innenumfangsbereichs I ($\phi = -90^\circ$) des Krümmers auf (siehe Fig. 2b). Daraus wird deutlich, daß dieser Bereich eine geringe Festigkeit im Vergleich zum Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) und Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und $\phi = 180^\circ$) des Krümmers und am geraden Rohr hat.

25 Anschließend wurde an einer Rohrleitung mit einem Krümmer und daran über Schweißabschnitte angefügten geraden Roh-

1 ren ein Biegmomment am Krümmer aufgebracht, indem gemäß
 Fig. 5(a) ein Ende des geraden Rohres fixiert und eine Außen-
 kraft 8 mit einem Hydraulikstempel auf das andere Ende ausge-
 übt wurde. Dabei wurde die auftretende Beanspruchung an der
 5 Rohraußenfläche an jedem Krümmerbereich untersucht.

Fig. 5(b) zeigt die auftretende Beanspruchung innerhalb
 des Krümmerquerschnitts. Der Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$), der Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und 180°) und der Außen-
 umfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) zeigen jeweils mehr oder minder
 10 Spitzenbeanspruchungen, was darauf verweist, daß diese vier
 Bereiche gefährdete Querschnitte sind. Bei der Untersuchung
 der Ursachen wurde festgestellt, daß die Querschnittsform des
 Krümmers durch das Aufbringen eines Biegmoments abge-
 flacht wurde, wodurch Spitzenbeanspruchungen an den vier vor-
 15 stehend genannten Bereichen verursacht wurden.

Aus der bisherigen Darstellung wird deutlich, daß beim
 Ausüben eines Innendrucks und einer Außenkraft, z. B. eines
 Biegmoments, einzeln oder in Kombination auf herkömmliche
 20 gebogene Rohre der Krümmer geringere Festigkeitseigenschaften
 als das gerade Rohr hat und daß dabei innerhalb des Krümmer-
 querschnitts die Beanspruchungen am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$), Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und 180°) und Außenumfangs-
 bereich O ($\phi = +90^\circ$) groß sind, wobei insbesondere der Innen-
 umfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) als gefährdeter Bereich ausgewie-
 25 sen ist. Daraus wurde deutlich, daß Verbesserungen erforder-
 lich sind.

Der Erfindungsgedanke kam angesichts der vorstehend be-
 schriebenen gegenwärtigen Situation zustande. Eine Aufgabe
 30 der Erfindung besteht darin, ein krümmerloses Stahlrohr mit
 hoher mechanischer Festigkeit zu schaffen, bei dem eine ge-
 ringere Beanspruchung auch dann auftritt, wenn ein Innendruck
 und eine Außenkraft, z. B. ein Biegmoment, einzeln oder
 in Kombination ausgeübt werden. Diese Aufgabe wird mit den
 Merkmalen des Patentanspruchs gelöst.

35 Die Erfindung beruht auf der allgemeinen Erkenntnis, daß
 die Parameter eines gebogenen Rohrs, d. h., Außendurchmesser
 D des gebogenen Abschnitts, Krümmungsradius R des gebogenen

1 Abschnitts, Außendurchmesser D_0 des geraden Abschnitts, Wand-
dicke T_0 des geraden Abschnitts, Mittelquerschnittswinkel ϕ
des gebogenen Abschnitts und Wanddicke t des gebogenen Ab-
schnitts die folgenden Gleichungen (1) und (2) erfüllen soll-
ten:

$$\frac{D_0 - T_0}{2T_0} \geq \frac{(D - t) \{4R + (D - t) \sin \phi\}}{4 \times t \{2R + (D - t) \sin \phi\}} \dots (1)$$

$$3T_0 \geq t \dots (2)$$

10 Insbesondere erfüllt die Erfindung die folgenden Glei-
chungen (3), (6) und (7) mit den besonderen Bereichen (4) mit
(5), (8) mit (9) und (10) mit (11):

$$0 \leq \{(T_0 - T_1) / T_0\} * (R / D_0) \leq 0,20 \dots (3)$$

$$0 \leq U \leq 0,03 \dots (4)$$

15 für $0,04 \leq T_0 / D_0 \leq 0,10 \dots (5)$

$$1 \leq R / D \leq 5 \dots (6)$$

$$U = 2 * (D_1 - D_2) / (D_1 + D_2) \dots (7)$$

$$0 \leq U \leq 0,05 \dots (8)$$

für $0,02 \leq T_0 / D_0 < 0,04 \dots (9)$

20 für $0 \leq U \leq 0,015 \dots (10)$

für $0,10 < T_0 / D_0 \leq 0,20 \dots (11)$

mit den folgenden Parametern: maximaler Außendurchmesser D_1
des gebogenen Abschnitts, minimaler Außendurchmesser D_2 des
gebogenen Abschnitts, Wanddicke T_1 am Außenumfang des geboge-
nen Abschnitts (90°) und Abflachungsgrad U des Außendurchmes-
sers am gebogenen Abschnitt.

25 Fig. 1(a) und (b) ist eine schematische Darstellung ei-
ner Rohrleitung mit einem krümmerlosen Rohr gemäß einer Aus-
führungsform der Erfindung bzw. eine Querschnittsansicht des
gebogenen Abschnitts entlang der Linie Y-Y von Fig. 1(a);

30 Fig. 2(a) und (b) ist eine schematische Darstellung ei-
ner Rohrleitung mit einem herkömmlichen Schweißfitting
(allgemein als Krümmen bekannt) bzw. eine Querschnittsansicht
des Krümmerabschnitts entlang der Linie X-X von Fig. 2(a);

35 Fig. 3(a) ist eine Perspektivansicht der Bruchbedingun-
gen einer Rohrleitung mit einem Krümmen, nachdem ein Innen-
druck ausgeübt wurde;

1 Fig. 3(b) ist eine Perspektivansicht der Bruchbedingungen eines krümmerlosen Rohrs, nachdem ein Innendruck ausgeübt wurde;

5 Fig. 4 ist ein Diagramm der Beanspruchungen in der Umfangsrichtung eines Rohrs, die am gebogenen Abschnitt eines krümmerlosen Rohrs und am Krümmer auftreten, nachdem ein Innendruck von 100 at ausgeübt wurde;

10 Fig. 5(a) ist eine schematische Darstellung, die veranschaulicht, wie ein Biegungsmoment auf eine Rohrleitung ausübt wird;

15 Fig. 5(b) ist ein Diagramm der Beanspruchungen in der Umfangsrichtung eines Rohrs, die am gebogenen Abschnitt auftreten, nachdem ein Biegungsmoment von 1 Tonne · m auf ein krümmerloses Rohr und auf eine Rohrleitung mit einem Krümmer ausgeübt wurde;

20 Fig. 6(a) und (b) sind Diagramme von Beispielen für eine Berechnung der Querschnittskontur des gebogenen Abschnitts eines krümmerlosen Rohrs, wobei Fig. 6(a) ein Diagramm zum Anzeigen der Wanddicke ($t/T_0 = 1$) am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) und Fig. 6(b) ein Diagramm zum Anzeigen der Wanddicke ($t/T_0 = 1$) am Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) ist;

25 Fig. 7(a) bis (c) sind Diagramme zum Anzeigen der Verformungsbedingungen, die durch einen Innendruck in einem induktionsgebogenen Rohr mit unterschiedlichen Abflachungsgraden U und unterschiedlichen Wanddicken T_1 des Außenumfangsbereichs ($+90^\circ$) am gebogenen Abschnitt des Rohrs gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erzeugt werden, wobei Fig. 7(a) ein Diagramm für den Fall $0,04 \leq T_0/D_0 \leq 0,10$, Fig. 7(b) ein Diagramm für den Fall $0,02 \leq T_0/D_0 < 0,04$ und Fig. 7(c) ein Diagramm für den Fall $0,10 < T_0/D_0 \leq 0,20$ ist;

30 Fig. 8 ist ein Querschnitt zum Darstellen der Abflachungsbedingungen des gebogenen Abschnitts eines induktionsgebogenen Rohrs entlang der Linie Y-Y von Fig. 1(a);

35 Fig. 9(a) ist ein Diagramm zum Anzeigen der Meßwerte der Beanspruchungen zusammen mit den Analysewerten gemäß der finiten Elementmethode, die am gebogenen Abschnitt eines induktionsgebogenen Rohrs mit einem Abflachungsgrad U des gebo-

1 genen Abschnitts von 2 % auftreten, nachdem ein Innendruck
von 100 at ausgeübt wurde;

Fig. 9(b) ist ein Diagramm zum Anzeigen der Meßwerte der Beanspruchungen, die am gebogenen Abschnitt auftreten, wenn
5 der gebogene Abschnitt unterschiedliche Abflachungsgrade hat;
und

Fig. 10 ist eine Konzeptdarstellung der Zusatzbeanspruchung zur Abflachungskorrektur, nachdem ein Innendruck auf
ein induktionsgebogenes Rohr mit einem abgeflachten gebogenen
10 Abschnitt ausgeübt wurde.

Die Erfinder richteten ihr Augenmerk auf ein krümmerloses Rohr mit einem gebogenen Abschnitt mit ungleichmäßiger
wanddicke gemäß Fig. 1, wobei das Rohr Festigkeitseigenschaften hat, die denen eines gebogenen Rohrs mit einem Krümmer
15 überlegen sind, und stellten Untersuchungen dazu an.

#A8

Mit dem Ziel der Beseitigung oder Verringerung solcher Nachteile des herkömmlichen Rohrleitungssystems mit einem Krümmer, wie z. B.

(a) Auftreten einer Höchstbeanspruchung am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$), nachdem ein Innendruck ausgeübt wurde,
20 und

(b) Auftreten einer Spitzenbeanspruchung infolge der Abflachung des gebogenen Abschnitts, nachdem ein Biegmomment
ausgeübt wurde,

25 wurde experimentell ein krümmerloses Rohr hergestellt, dessen Grundgestaltung erreichen soll, daß die Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) größer als die eines Krümmers ist.

Geprüft wurde, ob dieses krümmerlose Rohr Festigkeitseigenschaften hat, die denen des gebogenen Rohrs mit einem Krümmer überlegen sind.

30 Es wurde die auf der Rohraußenfläche auftretende Beanspruchung am gebogenen Abschnitt des krümmerlosen Rohres untersucht, nachdem der Innendruck P 100 at (98,69 bar) als Ergebnis eines auf die Rohrleitungsinnenfläche eines krümmerlosen Rohrs auf die gleiche Weise wie bei einem Rohr mit einem Krümmer ausgeübten Drucks erreichte. Ferner wurde der In-

1 nendruck P bis zum Bruch der Rohrleitung erhöht, und es wurden
deren charakteristische Merkmale untersucht.

5 Fig. 4 zeigt die auftretende Beanspruchung, nachdem der
Innendruck P 100 at (98,69 bar) erreichte. Die am Innenum-
fangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des gebogenen Abschnitts auftre-
tende Beanspruchung, die beim herkömmlichen Krümmer problema-
tisch war, ist merklich zurückgegangen, und es wurde eine
gleichmäßige Beanspruchungsverteilung erreicht.

10 Fig. 3(b) zeigt die Bruchbedingungen der Rohrleitung. Am
gebogenen Abschnitt des krümmerlosen Rohrs trat kein Bruch
auf. Der Bruch trat lediglich am geraden Abschnitt auf, was
durch einen Bruchbereich 6 in der Zeichnung dargestellt ist.

15 Aus der vorstehenden Darstellung wurde deutlich, daß
beim krümmerlosen Rohr die gebogenen Abschnitte bessere In-
nendruckfestigkeitseigenschaften als die geraden Abschnitte
haben und daher das krümmerlose Rohr dem Krümmer weitaus
überlegen ist.

20 Andererseits existierte keine Schätzgleichung für die
Beanspruchung, die in gebogenen Rohren mit ungleichmäßiger
Wanddicke, z. B. in diesem krümmerlosen Rohr, auftritt. Von
den Erfindern wurde die nachfolgende Gleichung (12) erarbei-
tet, die auf ein krümmerloses Rohr angewendet wurde und bei
der eine gute Übereinstimmung mit den Meßwerten von Fig. 4
festgestellt wurde. Für die Werte aus Gleichung (12) ergab
25 sich auch eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der
theoretischen Beanspruchungsanalyse nach der finiten Ele-
mentemethode. Ferner wurde festgestellt, daß die am geraden
Abschnitt auftretende Beanspruchung durch Gleichung (13) aus-
gedrückt werden kann.

30 Beanspruchung in Umfangsrichtung am gebogenen Abschnitt:

$$\sigma = \frac{P(D - t)}{4t} \frac{\{4R + (D - t) \sin \phi\}}{\{2R + (D - t) \sin \phi\}} \quad \dots (12)$$

Beanspruchung in Umfangsrichtung am geraden Abschnitt:

35
$$\sigma = \frac{P(D_0 - T_0)}{2T_0} \quad \dots (13)$$

Anschließend wurde die an jedem Bereich des gebogenen
Abschnitts auftretende Beanspruchung untersucht, nachdem ein

- 1 Biegungsmoment auf ein krümmerloses Rohr wie beim Krümmer
ausgeübt wurde.

Die Ergebnisse sind in Fig. 5(b) im Vergleich zu denen des Krümmers dargestellt. Es wurde festgestellt, daß sich die Spitzenbeanspruchung infolge der Abflachung der Querschnittsform, die am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$), Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und 180°) bzw. Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) des herkömmlichen Krümmers auftritt, bedeutend verringert.

10 Gemäß der anfangs geäußerten Erwartung wird der Grund dafür darin vermutet, daß das Vorhandensein einer großen Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des krümmerlosen Rohrs gemäß Fig. 1(b) eine Querschnittsabflachung des gebogenen Abschnitts des krümmerlosen Rohrs verhindert und dadurch die Beanspruchung beträchtlich verringert.

15 Aus der bisherigen Darstellung wurde deutlich, daß eine Erhöhung der Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des gebogenen Rohrabschnitts zu einer beträchtlichen Verbesserung der Festigkeitseigenschaften des Rohrleitungssystems führt. Weitere Untersuchungen betrafen eine Mindestwanddicke,
20 die an jedem Rohrbereich erforderlich ist.

25 Gleichung (14) wurde für die Bedingung aufgestellt, daß "der gebogene Abschnitt eine Abmessung und Form hat, die es ihm ermöglichen, bessere Innendruckfestigkeitseigenschaften als der gerade Abschnitt aufzuweisen", um ein krümmerloses Rohr mit ausgezeichneter Festigkeit vorzusehen.

$$\begin{array}{l} \text{auftretende Beanspruchung am geraden Abschnitt} \\ \text{auf } \geq \text{ auftretende Beanspruchung am gebogenen Abschnitt ... (14)} \end{array}$$

30 Wird Gleichung (13) für die linke Seite von Gleichung (14) und Gleichung (12) für deren rechte Seite eingesetzt, ergibt sich Gleichung (1), wodurch eine erforderliche Mindestwanddicke bestimmt werden kann.

$$\frac{D_0 - T_0}{2T_0} \geq \frac{(D - t) \{4R + (D - t) \sin \phi\}}{4 \times t \{2R + (D - t) \sin \phi\}} \quad \dots \quad (1)$$

35 In Gleichung (1) wird nur die Innendruckfestigkeit berücksichtigt. Da die Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) aus dem vorstehend erwähnten Grund groß ist, verringert

1. sich auch die Beanspruchung beim Ausüben des Biegunsmoments im Vergleich zu der beim Krümmer. Daher ist eine hohe Sicherheit gewährleistet.

Es wurde der obere Grenzwert für die Wanddicke untersucht. Unter dem Aspekt der Beanspruchungsverringerung und damit der Sicherheit ist eine große Wanddicke bevorzugt. Da der Außendurchmesser jedoch im allgemeinen einen vorbestimmten Wert hat, führt die Erhöhung der Wanddicke zu einer Verringerung des Rohrinnendurchmessers. Bei der Flüssigkeitsbewegung im Rohr erhöht sich folglich die Rohrfließgeschwindigkeit, was den Fließwiderstand im Rohr nachteilig erhöht. Ferner gehen damit wirtschaftliche Nachteile einher. Daher wurde Gleichung (2) für den oberen Grenzwert der Wanddicke aufgestellt:

$$15 \quad 3T_0 \geq t \quad \dots \quad (2)$$

Einige Berechnungsergebnisse für den gebogenen Abschnitt eines durch Gleichung (1) und (2) definierten krümmerlosen Rohrs in Bezug auf den Bereich der Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) bzw. Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) sind in Fig. 6 in Relation zum Krümmungsradiusverhältnis R/D des gebogenen Abschnitts dargestellt. Je kleiner das Krümmungsradiusverhältnis R/D der Rohrleitung ist, um so größer ist die erforderliche Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$). Am Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) wurde festgestellt, daß die Wanddicke bis zu einem gewissen Grad verringert werden kann. Dementsprechend wurden die Abmessungsbereiche eines neuartigen krümmerlosen Rohrs geklärt. Da der in der Gleichung erscheinende Außendurchmesser D am gebogenen Abschnitt gleich D_0 in der allgemeinen Rohrleitung ist, wird $D = D_0$ angenommen. Die Wanddicke T_0 am geraden Abschnitt stellt eine Istabmessung dar. Der Höchstwert für das Krümmungsradiusverhältnis R/D für Rohrleitungen in Chemieanlagen, Kesselrohrleitungen und Rohranordnungen für Kernenergieanlagen liegt im allgemeinen bei 5, und sein Mindestwert beträgt im allgemeinen 1.

An induktionsgebogenen Rohren mit unterschiedlichen Abflachungsgraden am gebogenen Abschnitt gemäß Tabelle 1 wurde

10

- 1 die Beanspruchung untersucht, die auf der Rohraußenfläche an jeder Rohrposition auftritt, nachdem der Innendruck 100 at (98,69 bar) als Ergebnis einer Druckbeaufschlagung an einem Rohrende durch Wasserdruck vom Einlaß für die Innendruckbeaufschlagung erreichte.
- 5

10

15

20

25

30

35

1

5

10

15

20

25

30

35

Tabelle 1

11

Nr.	Stahlsorte	Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt				Höchsbeanspruchung am gebogenen Abschnitt beim Innendruck von 100 at (kp/mm ²)
		Außendurchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radiusver- hältnis R/D ₀	Ablachungs- grad U (%)	
1	ASTM A106B	168,3	10,8	6,4	9,1	9,4	1,5	0,1	7,0
2	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,4	10,1	1,5	2,0	8,3
3	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,8	9,3	1,5	5,0	10,5

Fig. 9(a) zeigt einige Meßwerte der Beanspruchung, die am Außenflächenbereich (O) eines gebogenen Abschnitts mit einem Abflachungsgrad von 2 % auftritt, wenn der Innendruck 100 at (98,69 bar) erreicht. Fig. 9(b) und Tabelle 1 zeigen das Beanspruchungsergebnis an gebogenen Abschnitten mit unterschiedlichen Abflachungsgraden. Aus der Zeichnung und der Tabelle geht hervor, daß sich eine Höchstbeanspruchung an diesem Außenflächenbereich mit zunehmendem Abflachungsgrad erhöht, und der Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) im Hinblick auf eine Höchstbeanspruchung ein gefährdeter Bereich ist. Ferner sind in Fig. 9(a) zusammen mit den Meßwerten die Ergebnisse der zahlenmäßigen Analyse gemäß der finiten Elementmethode für die sich ergebende Erscheinung gezeigt, nachdem ein Innendruck von 100 at (98,69 bar) auf das induktionsgebogene Rohr ausgeübt wurde. Als Ergebnis der Analyse entspricht die Beanspruchung am Außenflächenbereich (O) gemäß Fig. 8 im wesentlichen den vorstehend genannten Meßwerten. Zusätzlich ausgewiesen wurden ferner die Beanspruchungsbedingungen am Mittelbereich (M) der Wanddicke und am Innenflächenbereich (I). Anhand dieser Ergebnisse wurde der Tatsache Beachtung geschenkt, daß die Beanspruchungserhöhung durch Abflachung infolge einer zusätzlichen Beanspruchung zur Abflachungskorrektur zustande kommt, die an jedem Rohrbereich wirkt, wenn ein Innendruck auf den abgeflachten gebogenen Abschnitt ausgeübt wird. Beachtung fand ferner die Tatsache, daß gemäß Fig. 10 eine zusätzliche Zugbeanspruchung infolge der Beanspruchung zur Abflachungskorrektur auf den Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts wirkt, wobei sich diese zusätzliche Zugbeanspruchung mit der relativen Zunahme der Wanddicke erhöht. Daraus wird deutlich, daß bei der Beaufschlagung eines induktionsgebogenen Rohrs mit einem Innendruck eine Erhöhung des Abflachungsgrads am gebogenen Abschnitt zu einer Erhöhung der Höchstbeanspruchung führt, die am Umfangsabschnitt des gebogenen Rohrs auftritt. Bei einer kleinen Wanddicke T_1 am Außenumfangsabschnitt ($+90^\circ$) des gebogenen Rohrs wird ferner die in diesem Bereich auftretende Beanspruchung groß. Diese Erscheinung hängt mit dem Verhäl-

1 nis zwischen der Wanddicke des geraden Abschnitts und dem Au-
5 ßendurchmesser (T_0/D_0) zusammen.

An induktionsgebogenen Rohren mit unterschiedlicher
5 Wanddicke und unterschiedlichem Abflachungsgrad,
10 die durch kontinuierliches Erwärmen eines Stahlrohrs mit ei-
nem Verhältnis zwischen der Wanddicke des geraden Abschnitts
15 und dem Außendurchmesser (T_0/D_0) von 0,04 bis 0,10 durch
hochfrequente Induktionserwärmung hergestellt werden, während
an ihrem erwärmten Bereich ein Biegemoment ausgeübt und
unmittelbar danach eine Zwangskühlung mit Wasser oder Luft
durchgeführt wird, wurden Verformungsprüfungen durch Innen-
druckbeaufschlagung durchgeführt, wodurch die Auswirkungen
der Wanddicke und des Abflachungsgrads bestimmt
wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

15

20

25

30

35

Tabelle 2

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration				Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)		
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt		Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
		Außen-durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D ₀	Abflachungsgrad U (%)
1	ASTM A106B	168,3	10,8	6,4	19,1	9,4	1,5	0,1
2	ASTM A106B	168,3	11,0	6,5	13,4	10,6	3,0	0,9
3	ASTM A106B	168,3	7,2	4,3	12,1	6,6	1,5	1,1
4	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,4	10,1	1,5	2,0

1
5
10
15
20
25
30
35

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration				Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)		
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt		Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
Außen-durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D ₀	Ablachungsgrad U (%)		
5	ASTM A106B	168,3	11,0	6,5	16,2	10,3	2,0	2,5 X
6	ASTM A106B	168,3	7,2	4,3	10,6	6,6	2,00	3,0 X
7	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,8	9,3	1,5	5,0 - X
8	ASTM A106B	168,3	11,2	6,6	18,4	10,1	1,5	3,5 - X

1
5
10
15
20
25
30
35

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration					Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)		
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt			Cerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
Außen-durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D ₀	Abflachungsgrad U~ (%)	Cerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
9	ASTM A106B	168,3	7,1	4,2	9,0	6,7	3,0	3,3	- X
10	ASTM A106B	168,3	11,2	6,5	13,4	10,5	3,0	2,9	X -
11	ASTM A106B	168,3	7,1	4,2	10,6	6,6	2,0	1,4	X -
12	ASTM A106B	168,3	11,0	6,5	18,5	9,1	1,5	1,8	- X

1

5

10

15

20

25

30

35

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration				Position, an der die Verformung am frühesten eingesetzt (Markierung X)		
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt		Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
Außen-durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs-radiusverhältnis R/D ₀	Ablachungsgrad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
13	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	15,4	9,4	2,0	-
14	ASTM A106B	168,3	7,0	4,2	8,7	6,3	3,0	X
						2,5	-	X

1 Als Ergebnis wurde beobachtet, daß die Verformung am gebogenen Teil einsetzt, wenn der Abflachungsgrad U mehr als 3 % beträgt; dies gilt auch bei einem Abflachungsgrad U von 3 % oder darunter und einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am 5 Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts. Eine Zusammenfassung dieser Beziehungen in Relation zu R/D_0 ist in Fig. 7 dargestellt. In der Darstellung bezeichnet die Markierung • ein erstes Auftreten der Verformung am geraden Abschnitt, und die Markierung x bezeichnet ein erstes Auftreten 10 der Verformung am gebogenen Abschnitt. Die Zahlen in der Zeichnung bezeichnen den Abflachungsgrad (in %) am Außen- durchmesser des gebogenen Abschnitts.

Wie vorstehend erwähnt wurde, muß zur Gewährleistung der Sicherheit des gebogenen Abschnitts nach Ausüben eines Innendrucks auf ein induktionsgebogenes Rohr mit einem gebogenen Abschnitt mit ungleichmäßiger Wanddicke die Beziehung von Gleichung (1) erfüllt sein. Insbesondere bei einem Krümmungsradiusverhältnis R/D_0 des gebogenen Abschnitts im Bereich von 1 bis 5 und einem Verhältnis T_0/D_0 im Bereich von 0,02 bis 20 0,20 wird der Grenzwert für die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts annähernd durch Gleichung (15) ausgedrückt:

$$\{(T_0 - T_1) / T_0\} * (R / D_0) = 0,20 \quad \dots (15)$$

25 Ferner wurden von den Erfindern experimentell induktionsgebogene Rohr mit unterschiedlicher Wanddickendifferenz und unterschiedlichem Abflachungsgrad gemäß Tabelle 3 und 4 durch kontinuierliches Erwärmen eines Stahlrohrs mittels hochfrequenter Induktionserwärmung hergestellt, während ein Biegemoment an ihrem erwärmten Bereich ausgeübt und unmittelbar danach eine Zwangskühlung mit Wasser oder Luft durchgeführt wurde. Die induktionsgebogenen Rohre wurden einer Verformungsprüfung unterzogen, bei der sie mit Innendruck beaufschlagt wurden, wodurch die Auswirkungen von Wanddicken- 30 differenz und Abflachungsgrad bestimmt wurden.
35

1
5
10
15
20
25
30
35

Tabelle 3

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration				Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)		
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt		Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
Außen-durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D ₀	Abflachungsgrad U (%)		
1	ASTM A106B	165,1	5,5	3,3	7,4	5,1	2,0	X
2	ASTM A106B	165,1	5,4	3,3	7,2	4,9	2,0	X
3	ASTM A106B	165,1	5,4	3,3	7,5	5,0	2,0	X
4	ASTM A106B	165,1	5,6	3,4	7,6	5,2	2,0	X

1

5

10

15

20

25

30

35

20

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration					Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt			Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
		Außen-durchmesser D_0 (mm)	Wanddicke T_0 (mm)	T_0/D_0 (%)	Innenumfangs-Wanddicke T_2 (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T_1 (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D_0	Abflachungsgrad U (%)
5	ASTM A106B	165,1	5,5	3,4	7,5	4,8	2,0	2,5
6	ASTM A106B	165,1	5,5	3,3	7,4	5,0	2,0	5,3

Tabelle 4

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration					Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt. (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt			Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
		Außen-durchmesser D_0 (mm)	Wanddicke T_0 (mm)	T_0/D_0 (%)	Innenumfangs-Wanddicke T_2 (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T_1 (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D_0	Abflachungsgrad U (%)
1	ASTM A106B	139,7	15,9	11,4	21,1	14,6	2,0	0,5 X
2	ASTM A106B	139,7	15,7	11,2	22,0	14,8	2,0	0,8 X
3	ASTM A106B	139,7	16,0	11,5	21,8	14,4	2,0	1,5 X
4	ASTM A106B	139,7	15,9	11,4	21,5	14,6	2,0	2,3 - X

Tabelle 4 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration				Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)		
		Gerader Abschnitt		Gebogener Abschnitt		Krümmungsradiusverhältnis R/D ₀	Abflachungsgrad U (%)	Gerader Abschnitt
Außen-durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₂ (mm)	Krümmungs-radius-verhältnis R/D ₀	Abflachungsgrad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
5	ASTM A106B	139,7	15,8	11,3	21,3	14,0	2,0	0,9
6	ASTM A106B	139,7	16,1	11,5	20,9	13,8	2,0	2,5

1 Aus den vorstehenden Tabellen gehen die charakteristischen Merkmale dieser induktionsgebogenen Rohre hervor. Das Verhältnis T_0/D_0 zwischen Wanddicke des geraden Abschnitts und Außendurchmesser liegt im Bereich von 2 bis unter 4 % in
 5 Tabelle 3 und im Bereich von über 10 bis 20 % in Tabelle 4. Das Verhältnis R/D_0 zwischen Krümmungsradius und Außendurchmesser liegt im Bereich von 1 bis 5, der Abflachungsgrad liegt im Bereich von 0 bis 10 %, und wo die Wanddicke am Außenumfang des gebogenen Abschnitts ($+90^\circ$) T_1 beträgt, liegt
 10 $(T_0 - T_1)/T_0$ im Bereich von 0 bis 0,2.

Die Rohrleitung mit einem erfindungsgemäßen krümmerlosen Rohr hat im Vergleich zur herkömmlichen Rohrleitung mit einem Krümmer ausgezeichnete Festigkeitseigenschaften, wenn sie einem Innendruck und einem Biegmomment ausgesetzt wird. Da
 15 die Querschnittsabflachung klein ist, kann das krümmerlose Rohr ferner z. B. in Rohrleitungen für eine Chemieanlage, einen Kessel und eine Kernenergieanlage eingesetzt werden, in denen ein Innendruck und ein Biegmomment während des Betriebs solcher Ausrüstungen einzeln oder in Kombination ausgeübt werden. Das krümmerlose Rohr verbessert die Sicherheit
 20 solcher Ausrüstungen und leistet dadurch einen großen Beitrag für die gewerbliche Wirtschaft.

Beispiel 1

Es wurden krümmerlose Rohre mit unterschiedlichen, durch
 25 Gleichung (1) und (2) definierten Abmessungen gemäß Tabelle 5 und 6 hergestellt; diese wurden einer Bruchprüfung, bei der ein Innendruck ausgeübt wurde, und einer Beanspruchungsprüfung, bei der ein Biegmomment ausgeübt wurde, unterzogen. Als Arbeitsbeispiele zeigt Tabelle 5 die Bruchbedingungen bei
 30 Ausüben eines Innendrucks. Als Arbeitsbeispiele zeigt Tabelle 6 die Beanspruchungsbedingungen im Vergleich zu denen des Krümmers bei Ausübung eines Biegmoments von 1 Tonne · m.

1) Bruchprüfung durch Innendruck:

Die Bruchprüfung der Rohrleitung wurde durch Druckbeanspruchung der Rohrinnenfläche mit dem vorstehend genannten Wasserdruk durchgeführt (Fig. 3(b)). Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

1 Bei allen krümmungsfreien Rohren trat der Bruch an ihrem
geraden Abschnitt auf. Dies bestätigte die Sicherheit des ge-
bogenen Abschnitts, und es wurde deutlich, daß das krümmung-
lose Rohr eine Querschnittsform mit ausgezeichneten Innen-
5 druckfestigkeitseigenschaften im Vergleich zum herkömmlichen
Krümmung hat.

10

15

20

25

30

35

1

5

10

15

20

25

30

35

Tabelle 5

Art des Erzeugnisses	Nr.	Größe (mm)				Die Markierung X bezeichnet die Bruchposition infolge des Innendrucks, und die Markierung 0 bezeichnet die Position, an der kein Bruch auftrat.		
		Außen-durchmesser D, D ₀	Wanddicke t		R ₀	R	Gebogener Abschnitt	
			ϕ = -90°	ϕ = +90°			I	N
Beispiele für die Erfindung:	1	168,3	12,1	6,6	7,1	1,5D	0	0
	2	168,3	10,6	6,6	7,1	2,0D	0	0
Krummertose	3	168,3	9,0	6,8	7,1	3,0D	0	0
Rohre	4	168,3	18,5	10,3	11,0	1,5D	0	X

1
5
10
15
20
25
30
35

26

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Art des Erzeugnisses	Nr.	Außen-durchmesser D, D ₀	Größe (mm)			Die Markierung X bezeichnet die Bruchposition infolge des Innendrucks, und die Markierung 0 bezeichnet die Position, an der kein Bruch auftrat.		
			t	Wanddicke t	T ₀	R	Gebogener Abschnitt	Gerader Abschnitt
Beispiele für die Erfindestung:	5	168,3	16,2	10,4	11,0	2,0D	0	0
Krümmertlose Rohre	6	168,3	12,8	10,4	11,0	3,0D	0	0
Herkömmliches Beispiel: Krümmer	7	168,3	10,5	10,5	1,4D	X	0	0

1. 2) Beanspruchungsprüfung durch Biegemoment:

Es wurde eine Prüfung auf die im wesentlichen gleiche, vorstehend genannte Weise durchgeführt (Fig. 5(a)). Die an der Neutralposition N auftretende Beanspruchung ist als repräsentatives Beispiel für die Positionen, an denen eine Spitzenbeanspruchung an der Querschnittsfläche beobachtet wird, in Tabelle 6 dargestellt.

10

15

20

25

30

35

Tabelle 6

Art des Erzeugnisses	Nr.	Größe (mm)				Vergleich der Beanspruchung am Neutralbereich N in Rohrumfangsrichtung, nachdem ein Biegemoment von 1 Tonne · m auf den gebogenen Abschnitt ausgeübt wurde (1 für Krümmer)
		Außen-durch-messer	Wanddicke	Krüm-mungs-radius		
D, D ₀	t	t $\phi = +90^\circ$	T ₀	R		
Beispiele für die Erfindung: Krümmerlose	4	168,3	18,5	10,3	11,0	1,5D
	5	168,3	16,2	10,4	11,0	2,0D
Rohre	6	168,3	12,8	10,4	11,0	3,0D
Herkömmliches Beispiel: Krümmer	7	168,3	10,5	10,5	10,5	1,4D

1 Bei allen krümmerlosen Rohren wurde im Vergleich zu den
Rohren mit Krümmer eine beträchtliche Beanspruchungsverring-
ung beobachtet. Dadurch wurde die Wirksamkeit des Vorhanden-
seins einer großen Wanddicke am Innenumfangsbereich I des
5 krümmerlosen Rohrs nachgewiesen.

Anhand der Prüfergebnisse in 1) und 2) oben wurde bestä-
tigt, daß alle erfindungsgemäßen krümmerlosen Rohre im Ver-
gleich zum herkömmlichen Rohr mit Krümmer ausgezeichnete Fe-
stigkeitseigenschaften haben und daß der gebogene Abschnitt
10 dem geraden Abschnitt in seiner mechanischen Innendruckfe-
stigkeit überlegen ist.

Beispiel 2

1) Die Prüfergebnisse für den Fall $0,04 \leq T_0/D_0 \leq 0,10$
sind in Fig. 7(a) gezeigt. Bei einem Abflachungsgrad U über
15 3 %, und auch bei einem Abflachungsgrad von 3 % oder darun-
ter, und bei einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am Außenum-
fangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts wurde festge-
stellt, daß die Verformung am gebogenen Abschnitt einsetzt.
Die Grenzwertkurve für die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich
20 ($+90^\circ$) im gebogenen Abschnitt einer Rohrleitung, deren
gerader Abschnitt sich unter der Bedingung eines Abflachungs-
grads von 3 % oder darunter verformt, entsprach im wesentli-
chen Gleichung (14). D. h., es wurde nachgewiesen, daß bei
allen induktionsgebogenen Rohren, die dadurch gekennzeichnet
25 sind, daß die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des
gebogenen Abschnitts und der Abflachungsgrad U des Außen-
durchmessers am gebogenen Abschnitt in den durch Gleichung
(3) bzw. (4) definierten Bereichen liegen, nach Ausüben eines
30 Innendrucks auf das induktionsgebogene Rohr der verformungs-
auslösende Innendruck des gebogenen Abschnitts größer als der
des geraden Abschnitts ist, wodurch die Sicherheit der gebo-
genen Rohre gewährleistet ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß
die induktionsgebogenen Rohre der Erfindung mit einer gering-
fügig abgeflachten Querschnittsform an ihrem gebogenen Ab-
35 schnitt im Vergleich zum geraden Abschnitt eine ausgezeichne-
te mechanische Innendruckfestigkeit aufweisen.

1 2) Die Prüfergebnisse für den Fall $0,02 \leq T_0/D_0 < 0,04$
sind in Fig. 7(b) dargestellt. Bei einem Abflachungsgrad U
über 5 %, und auch bei einem Abflachungsgrad von 5 % oder
darunter, und bei einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am Au-
ßenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts wurde fest-
gestellt, daß die Verformung am gebogenen Abschnitt einsetzt.
Die Grenzwertlinie für die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbe-
reich ($+90^\circ$) im gebogenen Abschnitt einer Rohrleitung, deren
gerader Abschnitt sich unter der Bedingung eines Abflachungs-
grads von 5 % oder darunter verformt, entsprach ferner wie im
vorhergehenden Fall im wesentlichen Gleichung (14) (Fig.
7(b)).

D. h., es wurde nachgewiesen, daß bei allen induktions-
gebogenen Rohren, die dadurch gekennzeichnet sind, daß die
Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Ab-
schnitts und der Abflachungsgrad U des Außendurchmessers am
gebogenen Abschnitt in den durch Gleichung (3) bzw. (8) defi-
nierten Bereichen liegen, nach Ausüben eines Innendrucks auf
das induktionsgebogene Rohr der verformungsauslösende Innen-
druck des gebogenen Abschnitts größer als der des geraden Ab-
schnitts ist, wodurch die Sicherheit der gebogenen Rohre ge-
währleistet ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß die induk-
tionsgebogenen Rohre der Erfahrung mit einer geringfügig ab-
geflachten Querschnittsform an ihrem gebogenen Abschnitt im
Vergleich zum geraden Abschnitt eine ausgezeichnete mechani-
sche Innendruckfestigkeit aufweisen.

3) Die Prüfergebnisse für den Fall $0,10 \leq T_0/D_0 \leq 0,20$
sind in Fig. 7(c) dargestellt. Bei einem Abflachungsgrad U
größer als 1,5 %, und auch bei einem Abflachungsgrad von
1,5 % oder darunter, und bei einer relativ kleinen Wanddicke
 T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts
wurde festgestellt, daß die Verformung am gebogenen Abschnitt
einsetzt. Die Grenzwertlinie für die Wanddicke T_1 am Außenum-
fangsbereich ($+90^\circ$) im gebogenen Abschnitt einer Rohrleitung,
deren gerader Abschnitt sich unter der Bedingung eines Ab-
flachungsgrads von 1,5 % oder darunter verformt, entsprach

1 ferner wie im vorhergehenden Fall im wesentlichen Gleichung
 (14) (Fig. 7(c)).

5 D. h., es wurde nachgewiesen, daß bei allen induktions-
 gebogenen Rohren, die dadurch gekennzeichnet sind, daß die
 Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Ab-
 schnitts und der Abflachungsgrad U des Außendurchmessers am
 gebogenen Abschnitt in den durch Gleichung (3) bzw. (10) de-
 finierten Bereichen liegen, nach Ausüben eines Innendrucks
 auf das induktionsgebogene Rohr der verformungsauslösende In-
 10 nendruck des gebogenen Abschnitts größer als der des geraden
 Abschnitts ist, wodurch die Sicherheit der gebogenen Rohre
 gewährleistet ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß die induk-
 tionsgebogenen Rohre der Erfindung mit einer geringfügig ab-
 15 geflachten Querschnittsform an ihrem gebogenen Abschnitt im
 Vergleich zum geraden Abschnitt eine ausgezeichnete mechani-
 sche Innendruckfestigkeit aufweisen.

Die Wanddicken an anderen Bereichen des gebogenen Ab-
 schnitts richten sich aufgrund des Herstellungsverfahrens des
 induktionsgebogenen Rohrs nahezu eindeutig nach dem Krüm-
 20 mungsradius R und der Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich
 ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts. So liegt z. B. im allgemei-
 nen $(T_2 - T_0)/T_0$ im Bereich von 0,07 bis 0,80, wobei T_2 die
 Wanddicke am Innenumfangsbereich (-90°) des gebogenen Ab-
 25 schnitts darstellt. Zusätzlich ergibt sich der Abflachungs-
 grad U am Außendurchmesser des gebogenen Abschnitts zwangs-
 läufig aus dem Herstellungsverfahren des induktionsgebogenen
 Rohrs. Trotz verschiedener erprobter Gegenmaßnahmen ist es
 schwierig, dieses Problem vollständig zu beseitigen. Sofern
 30 keine besondere Maßnahme zum Korrigieren des Außendurchmes-
 sers nach dem Biegen unter Hochfrequenzinduktion ergriffen
 wird, beträgt der Abflachungsgrad im allgemeinen bis etwa
 8 %.

EP 88 90 0788.6-2311
 Nippon Steel Corporation, et al.
 u.Z.: X 487 EP

Patentanspruch

1. Induktionsgebogenes Stahlrohr für die Aufnahme eines Innendrucks und mit hoher Festigkeit gegen den Innendruck, wobei das gebogene Rohr einen geraden Abschnitt mit einem Außendurchmesser D_0 und einer Wanddicke T_0 und einen gebogenen Abschnitt aufweist, der sich von mindestens einem Ende des geraden Abschnitts aus erstreckt und einen maximalen Außendurchmesser D_1 , einen minimalen Außendurchmesser D_2 , einen Krümmungsradius R und eine Wanddicke T_1 am radial äußersten Abschnitt des Querschnittsumfangs aufweist, wobei das gebogene Rohr die nachstehenden Formeln erfüllt: ein Verhältnis T_0/D_0 der Wanddicke des geraden Abschnitts zu dessen Außendurchmesser in dem Bereich gemäß den nachstehenden Formeln (5a bis 5c), den Krümmungsradius R im Bereich gemäß der nachstehenden Formel (3), einen Abflachungsgrad U des Außendurchmessers des gebogenen Abschnitts gemäß der nachstehenden Formel (4) und im Bereich gemäß der nachstehenden Formel (2), sowie die Wanddicke T_1 am radial äußersten Abschnitt des Umfangs der Krümmung im Bereich gemäß der nachstehenden Formel (1):

$$0 \leq \{(T_0 - T_1) / T_0\} * (R / D_0) \leq 0,20 \quad (1)$$

$$0 \leq U \leq U_{\max} \quad (2)$$

$$1 \leq R / D_0 \leq 5 \quad (3)$$

$$U = 2 * (D_1 - D_2) / (D_1 + D_2) \quad (4)$$

wobei

$$U_{\max} = 0,015 \quad \text{für} \quad 0,10 < T_0 / D_0 \leq 0,20 \quad (5a)$$

$$U_{\max} = 0,03 \quad \text{für} \quad 0,04 \leq T_0 / D_0 \leq 0,10 \quad (5b)$$

$$U_{\max} = 0,05 \quad \text{für} \quad 0,02 \leq T_0 / D_0 < 0,04 \quad (5c)$$

Fig. 1

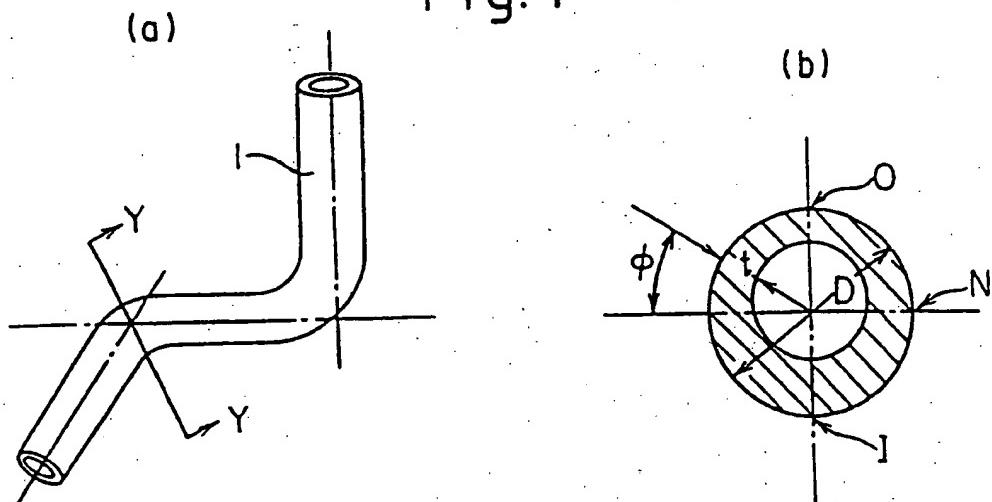


Fig. 2

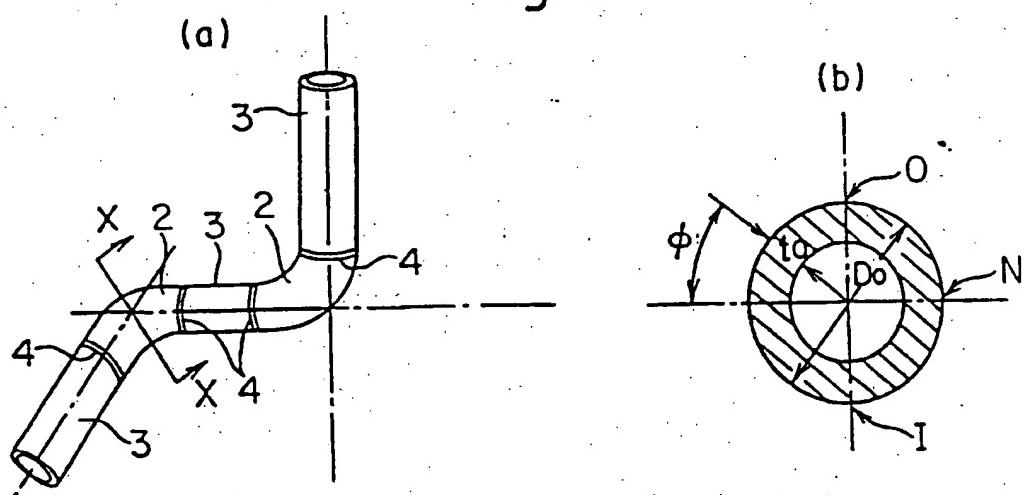


Fig. 3

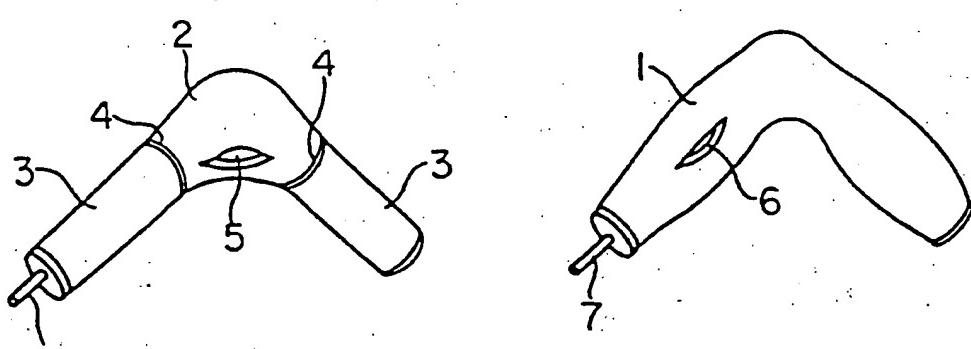


Fig. 4

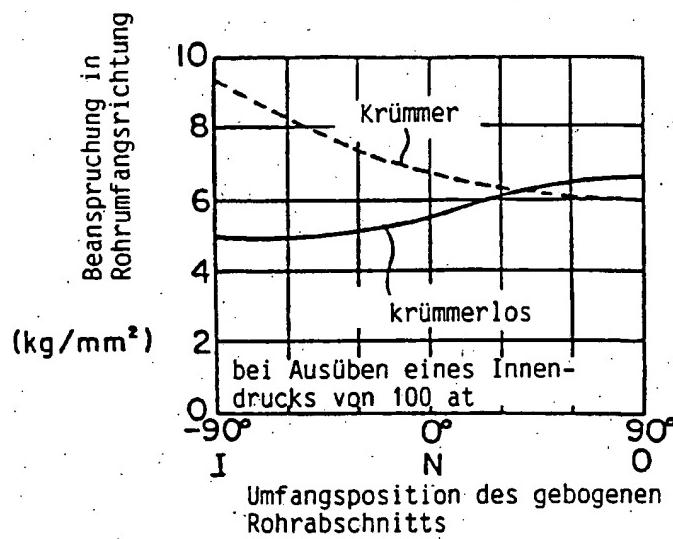


Fig. 5

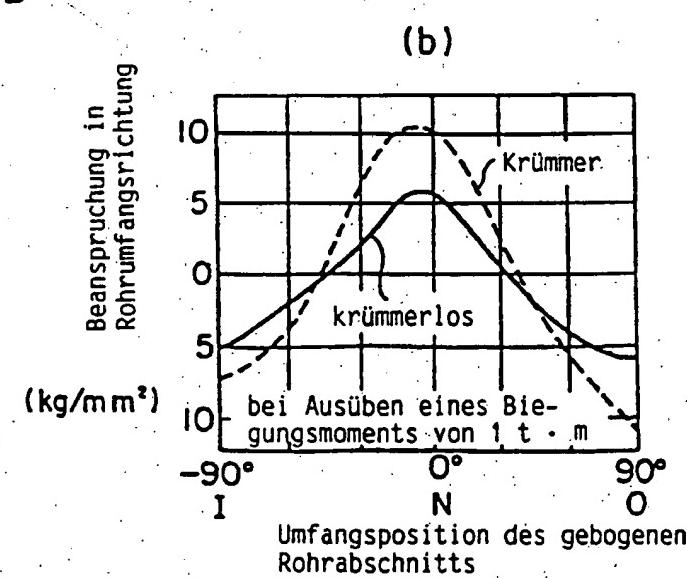
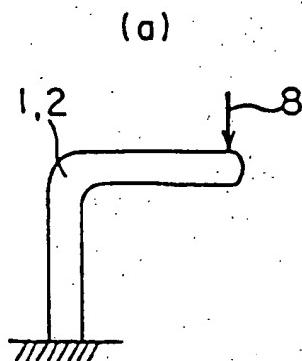
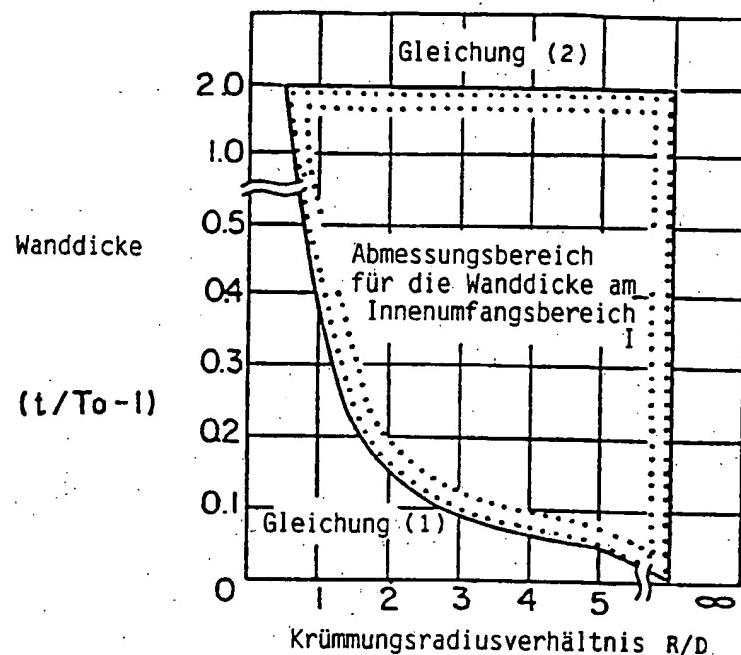


Fig. 6

(a)



(b)

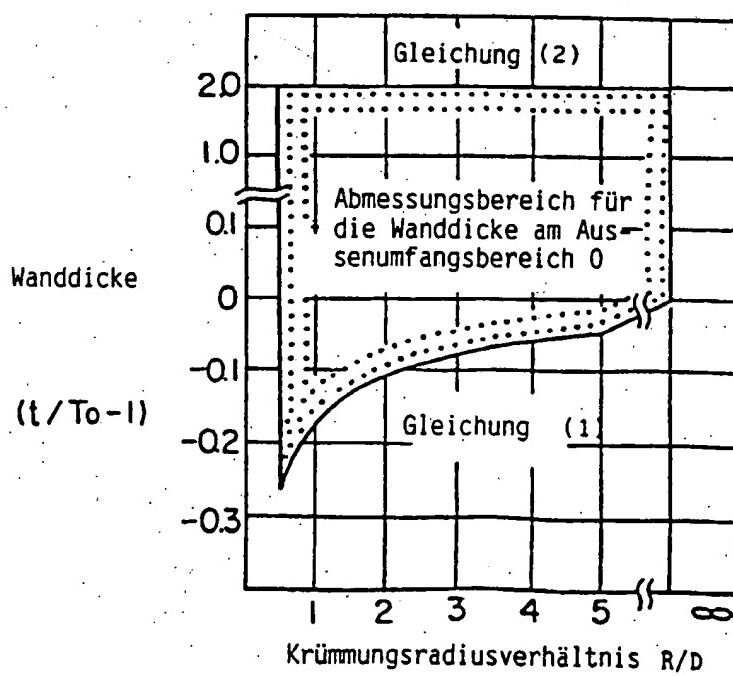
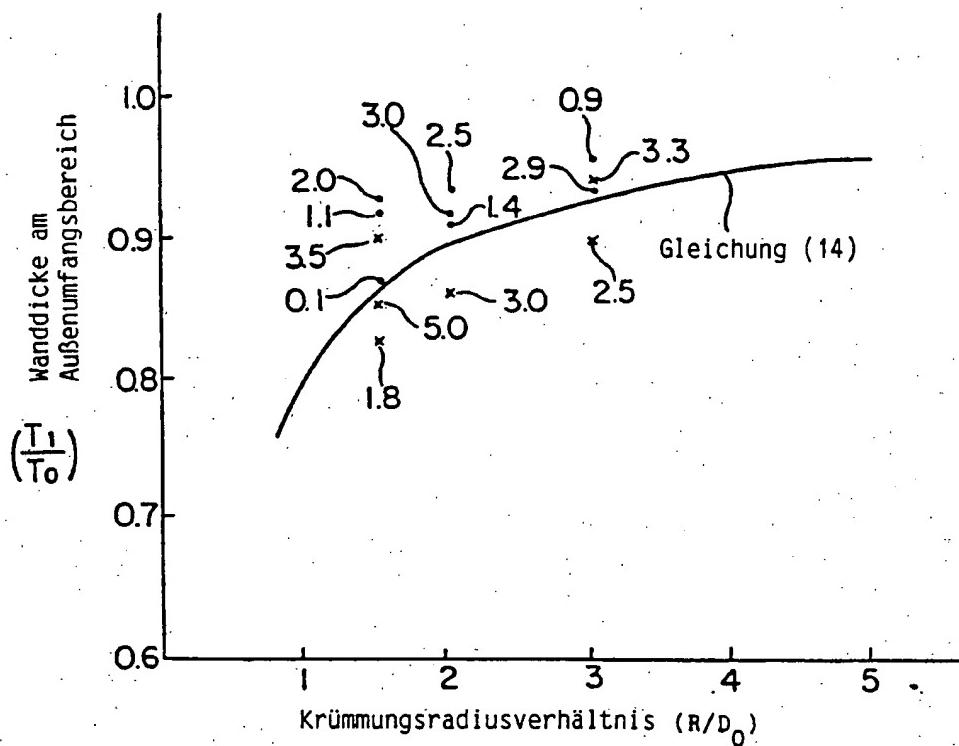


Fig. 7

(a)



(b)

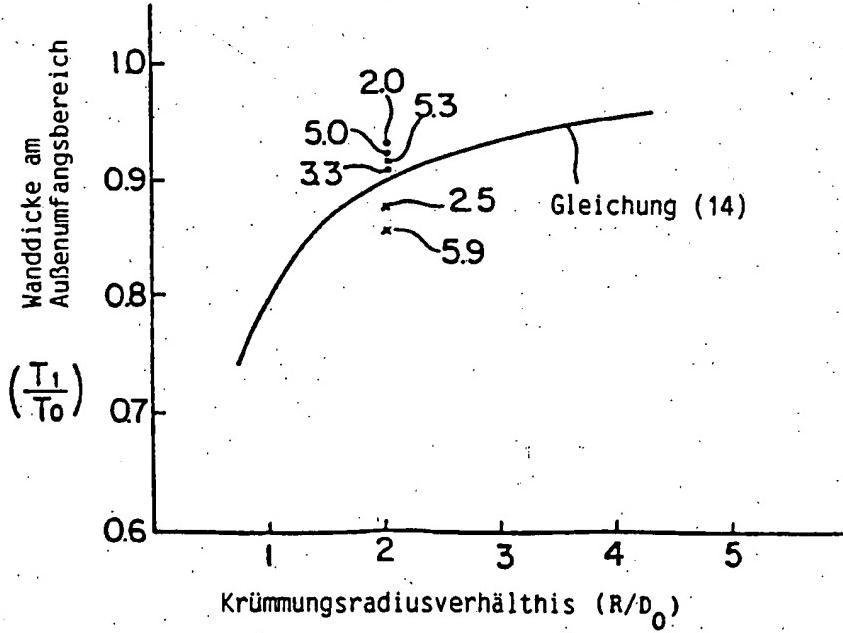


Fig. 7

(c)

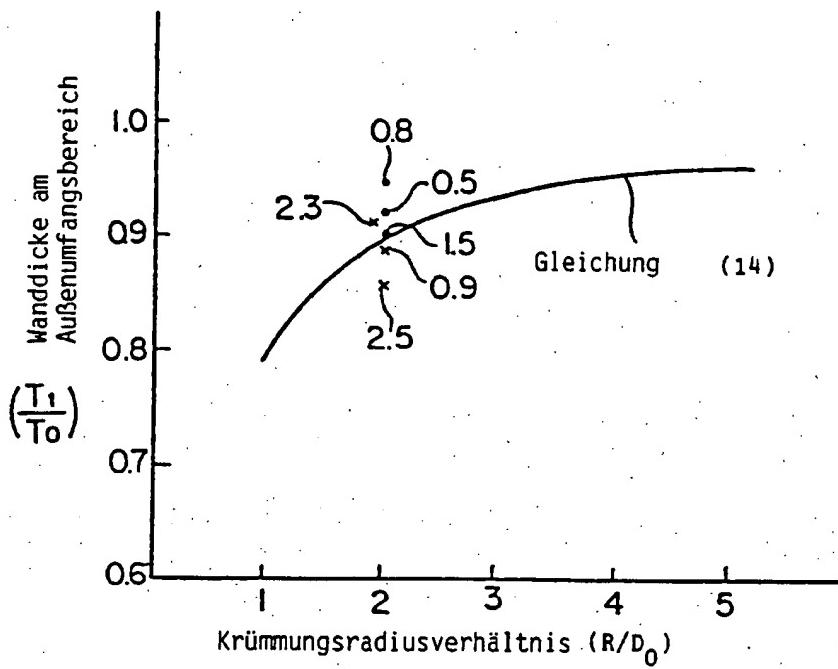


Fig. 8

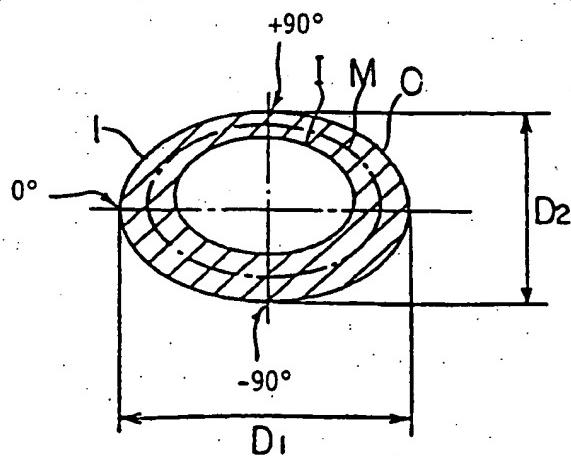


Fig. 9 (a)

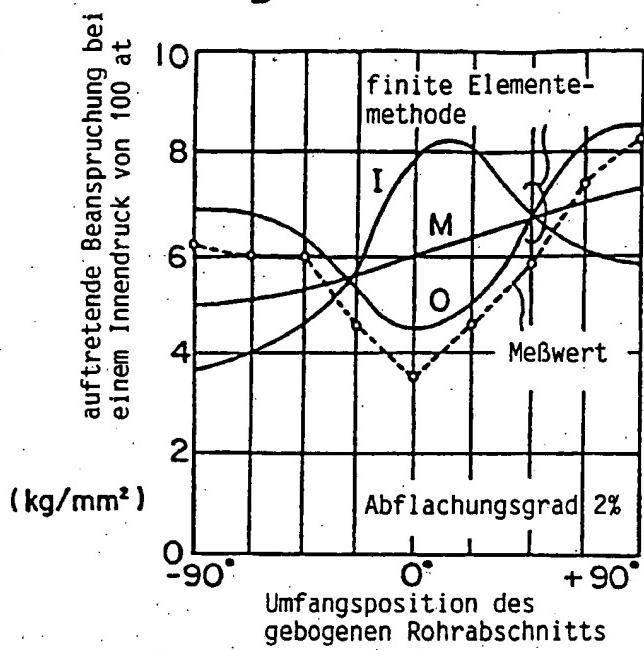
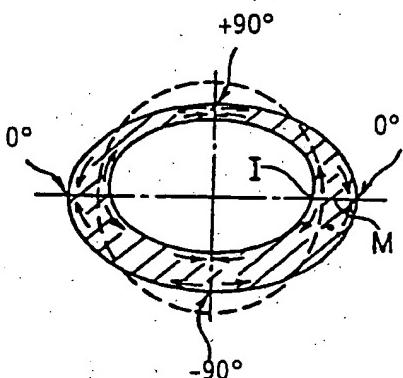
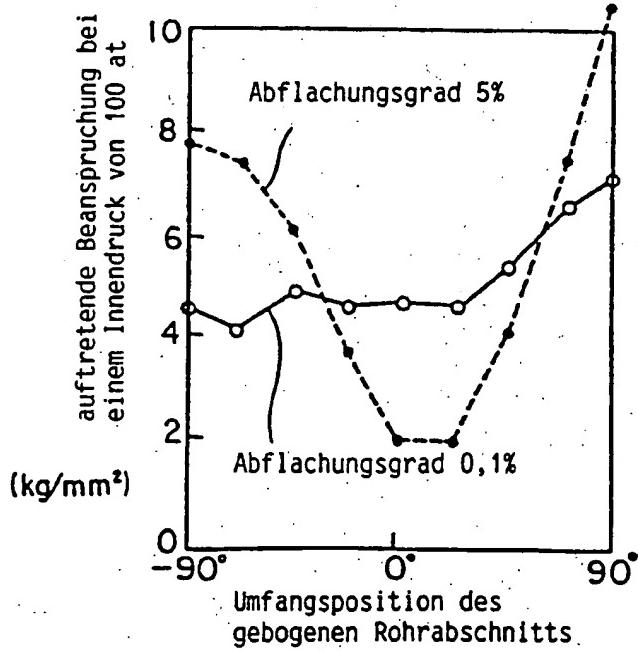


Fig. 10



(b)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.